



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Faculty of Forest Science

Fysiska strukturer i Umeälvens gamla älvfåra och dess inverkan på laxsmoltens utvandringsframgång

The effect of physical structures within the old river bed of river Umeälven on smolt migration

Viktoria Tegenfeldt



Examensarbete i ämnet biologi

Department of Wildlife, Fish, and Environmental studies

Umeå

2014

Fysiska strukturer i Umeälvens gamla älvfåra och dess inverkan på laxsmoltens utvandringsframgång

The effect of physical structures within the old river bed of river Umeälven on smolt migration

Viktoria Tegenfeldt

Supervisor: Anders Alanärä, Dept. of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Assistant supervisor: Lo Persson, , Dept. of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Examiner: Kjell Leonardsson, Dept. of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Credits: 30 HEC

Level: A2E

Course title: Master degree thesis in Biology at the Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Course code: EX0764

Programme/education: Jägmästarprogrammet

Place of publication: Umeå

Year of publication: 2014

Cover picture: Viktoria Tegenfeldt

Title of series: Examensarbete i ämnet biologi

Number of part of series: 2014:11

Online publication: <http://stud.epsilon.slu.se>

Keywords: smolt, vandring, fysiska strukturer, Umeälven, akustiska sändare

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Faculty of Forest Science
Department of Wildlife, Fish, and Environmental Studies

Abstract

The survival of hatchery reared smolts is generally low after release. To get a better understanding of what variables affecting migration success, Atlantic salmon smolts were studied during their out-migration in the old river channel in the lower part of river Umeälven. The area consists of shifting habitat and complex structures which causes difficulties for smolt on their migration out to sea. The aim of this study was to try to determine the effects of feed restriction, fin conditions and different physical barriers in the river, on the migratory behavior of Atlantic salmon smolts in the river Umeälven.

The river was divided into six different sections using acoustic receivers strategically deployed along the river. Two-year old hatchery-reared smolts (n=150), in three different weight classes, were tagged with acoustic transmitters. The fish were released in late May 2013 and monitored while migrating downstream. A majority of the smolts migrated to the sea within two days after release.

The smolts showed different migration speeds for different sections of the river. In sections containing large substrate size, steep incline and large proportion of rapids the smolts showed a significantly slower migration speed. The migration speed was similar for all weight classes and only a poor condition on the pectoral fin had a significant negative effect on migration speed. Compared to previous studies in the river, the survival and migration speed was high. At the time of release, the water flow was twice as high as in previous studies, which probably explained the higher migratory success.

Sammanfattning

Överlevnaden hos odlad smolt är generellt låg efter utsättning. För att få en bättre förståelse för vilka variabler som påverkar laxsmoltens migrationsframgång, studerades dess utvandring genom den gamla älvfåran i de nedre delarna av Umeälven. Området består av skiftande habitat och komplexa strukturer, vilket försvårar fiskens vandring ut mot havet. Syftet med denna studie var att försöka förstå vilka effekter en reducerad födotillgång, fiskens fenstatus och olika fysiska barriärer har på migrationsbeteendet hos laxsmolten i Umeälven.

Älven delades in i sex olika delsträckor med hjälp av akustiska mottagare, strategiskt utplacerade i älven. Tvåårig odlad laxsmolt (n=150), i tre olika storleksklasser märktes med akustiska sändare. Smolten släpptes sent i maj 2013 och följdes under sin utvandring. Majoriteten av smolten vandrade ut till havet inom två dagar efter utsättning.

Hastigheten hos smolten skiljde sig åt mellan olika delsträckor och på sträckor innehållande stora substrat, hög andel fors och fallhöjd hade smolten en signifikant lägre medelhastighet än övriga. Migrationshastigheten var lika för samtliga viktklasser och endast en dålig status på bröstfenan hade en signifikant negativ inverkan på fiskens medelhastighet. Både överlevnad och medelhastigheten var hög jämfört med tidigare års studier. Vid tidpunkten när fiskens

släpptes var vattenflödet dubbelt så högt jämfört med tidigare år, något som troligtvis förklarade den högre migrationsframgången.

Inledning

Under 1950-talet påbörjades en omfattande vattenkraftsutbyggnad av de svenska laxälvarna. För att kompensera bortfallet av laxens naturliga reproduktion ålades kraftindustrin att odla och sätta ut lax (Statlig utredning, 2000). Idag finns en rad fiskodlingar vars ursprungliga syfte är att kompensera fiskares uteblivna fångst och varje år sätts totalt ca 5 miljoner laxsmolt ut i Östersjön (ICES, 2009).

Odling av lax för utsättning sker genom att ägg från den vuxna laxen befruktas och kläcks i en odlingsanläggning. De förvaras därefter i tråg och föds upp med torrpellets (Finstad och Jonsson 2001). Normalt sett växer fisken till sig i odlingarna under 2 år innan den sätts ut i älven för att sedan vandra ut i havet. Innan laxen påbörjar sin utvandring genomgår den en rad förberedande fysiologiska förändringar, s.k. smoltifiering, som förbereder och ställer om laxen från att leva i sötvatten till ett liv i havsmiljö (Finstad och Jonsson 2001). Den får en mer strömlinjeformad kroppsform och en silverfärgad ton som gör fisken mindre synbar för predatorer, dessutom sker förändringar i salttolerans, metabolism och beteende (Jonsson m.fl., 1991). I samband med denna omställning övergår den unga laxen till att kallas smolt. Utsättning av smolten sker under våren och smolt från sydligare populationer sätts i regel ut tidigare än de härhörande från nordliga populationer, där vattnet når lämplig temperatur senare på säsongen (Thorstad m.fl., 2012).

Överlevnaden hos den odlade smolten är låg efter utsättning, i många fall mindre än hälften jämfört med den vilda (Serrano m.fl., 2009a; Serrano m.fl., 2009b; Finstad och Jonsson, 2001; Jonsson m.fl., 1991). Dödligheten har visat sig vara som högst under de första dagarna efter utsättning (Thorstad m.fl., 2011) och tiden de spenderar i älven är negativt korrelerad med överlevnaden (Salminen m.fl., 2007). Fenstatusen hos den odlade smolten är ofta sämre än hos den vilda men hur detta påverkar fisken är inte helt klart (McComerick m.fl., 1998). Petersson m.fl. (2013) såg i sin studie att skador på ryggsfenan många gånger hörde samman med en rad andra skador hos laxsmolten och att dessa tillsammans kan minska den långsiktiga havsöverlevnaden efter utsättning.

Energiinnehållet i fodret hos den odlade smolten har succesivt ökat vilket lett till att dagens 2-åriga odlingsfisk är betydligt större och har högre energireserver än den vilda. Utvecklingen drivs av vattenbruksindustrin, där efterfrågan på snabb tillväxt och sänkta produktionskostnader är höga (Eriksson m.fl., 2008). Anledningen till att fisken normalt väljer att påbörja sin vandring ut mot havet är den begränsande födotillgången i älven. Låg tillväxt och dåliga möjligheter att lagra fett fungerar som trigger för utvandringen till havet, där födotillgången är avsevärt högre (Thorpe, 1994; Jonsson och Jonsson, 1993). Stor smolt med stora energireserver kan därför vara mindre motiverade att vandra jämfört med liten smolt med mindre energireserver och därmed mindre motiverad till att vandra (Eriksson 2008; Alanärä m.fl. 2014). För att komma till rätta med dessa problem i fiskodlingar kan man utsätta

fisken för foderbegränsningar eller perioder av svält. En studie av Larson m.fl. (2012) gjord på havsöring i Sävarån, Västerbotten, visade på en positiv effekt av svält på vandringen efter utsättning. De fiskar med en längre period av svält innan utsättning visade sig vandra snabbare än den konventionellt odlade öringssmolten. Liknande resultat fann Lans m.fl. (2011) i sin studie på lax i Klaraälven, där fisk uppvuxen med reducerad fodertillgång vandrade snabbare och hade högre överlevnad.

Nyligen studerades vandring hos odlad laxsmolt med olika storlekar i Umeälven (Alanära m.fl., 2014). Under säsongen 2011 och 2012 följdes smolten från fiskodlingen i Norrfors, genom den gamla älvfåran till sammanflödet, där vattnet från Stornorrfors kraftverk flyter samman med den gamla älvfåran, och vidare ut till havet. Mortaliteten i den gamla älvfåran visade sig 2011 vara hög bland samtliga viktklasser och allra högst var den hos smolten i den största viktklassen. Majoriteten av smolten försvann i den gamla älvfåran, en sträcka som skiljer sig en hel del från sträckan efter sammanflödet. Den 10 km långa gamla älvfåran innehåller varierade habitatstrukturer med både fors- och lugnare partier. Vid sammanflödet övergår älven till att bli både bredare och djupare med ett jämt vattenflöde utan några direkta fysiska vandringshinder. Sannolikt påverkar en rad variabler smoltens vandringsframgång. Eftersom tiden de spenderar i älven är negativt korrelerad med överlevnad (Salminen m.fl., 2007) borde faktorer som på ett eller annat sätt försenar vandringen leda till högre mortalitet (Tipping m.fl., 1995).

Den gamla älvfåran är med sina skiftningar i habitat och struktur en komplicerad passage för smolten i sin vandring ut mot havet. Jag har därför valt att fokusera min studie på smoltens färd genom den gamla älvfåran för att se hur olika strukturer i älven påverkar smoltens vandringsframgång. Först och främst ville jag undersöka mortaliteten för samtliga individer, på vilken delsträcka den var högst och ifall den skiljde sig åt för olika viktklasser och fodergivor. Jag ville även studera fiskarnas medelhastighet, på vilken delsträcka den var högst, vilka fysiska strukturer i miljön i form av fors, fallhöjd och substrat som påverkade medelhastigheten. Jag ville dessutom se ifall smoltegenskaper så som vikt och fenstatus hade någon påverkan på medelhastigheten.

Jag förutspår att smoltmortaliteten kommer vara högst i den gamla älvfåran och att mortalitet och medelhastighet kommer skilja sig mellan viktklasser, där den minsta smolten med reducerad fodergiva kommer ha högst medelhastighet och lägst mortalitet. Jag förutspår också att de områdena med hög andel fors och fallhöjd, innehållande stora substratstorlekar, kommer ha en negativ inverkan på fiskens hastighet och att en sämre fenstatus har en negativ inverkan på vandringsframgången.

Material och metod

Studieområde – Umeälvens nedre del

Umeälven har sin början vid norska gränsen i sjön Överuman och slingrar sig 450 km i sydöstlig riktning innan den slutligen når Bottenviken vid 63°50'N, 20°05'E. Ca 30 km uppströms från älvens utlopp ligger Stornorrfor Vattenkraftverk som med sin produktion på 2298 GWh/år har den högsta produktionskapaciteten av alla vattenkraftverk i Sverige (Vattenfall AB). Vattnet leds från kraftverksdammen i Norrfors till kraftverket, och vidare ned i en 4 km lång underjordisk tunnel som 10 km nedströms dammen flyter samman med den ursprungliga älven, i det område som här benämns som sammanflödet. Nedanför kraftverksdammen rinner den gamla älvfåran. Från mitten av maj varje år släpps vatten i den gamla älvfåran för att möjliggöra fiskens upp- och nedvandring. Under sommarhalvåret varierar flödet mellan 10 och 50 m³ men kan vara betydlig högre vid exempelvis vårflod (Alanära m.fl., 2014). Mellan oktober och maj är gamla älvfåran i stort sett torrlagd och bara någon enstaka kubikmeter vatten rinner där. Intill kraftverksdammen ligger Norrfors smoltodling. Odlingen inrättades av Vattenfall under 1950-talet för att kompensera för den naturliga fiskproduktion som gick förlorad i och med vattenkraftsutbyggnaden. I maj varje år när torrfåran vattenfylls sätts 80 000 laxsmolt ut från odlingen (Vattenfall AB). Denna studie genomfördes på sträckan mellan Norrfors fiskodling och älvens utlopp i Holmsund. Sträckan var totalt ca 29 km och delades in i sex delsträckor (figur 1).



Figur 1. Studieområdet med placeringen av de akustiska mottagarna.

Övervakning

För att övervaka den märkta smolten på sin väg ut mot havet genom den gamla älvfåran, placerades akustiska mottagare (VEMCO, VR2 och VR2-W) ut i älven på platser där djupet var tillräckligt och störningar av brusande vatten bedömdes vara små. Varje mottagare knöts fast i ett rep med två vikter a' 3-4 kg nedtill och en boj längst upp. För att mottagaren skulle bli placerad på lämpligt djup justerades repens längd beroende av älvens djup på platsen (figur 2). På djupare platser nedanför den gamla älvfåran användes ett längre rep med vikter i båda ändarna och mottagaren fäst i mitten av repet. Vikterna placerades med ett mellanrum på älvens botten så att en triangel av repen bildades. På så sätt kunde mottagaren senare draggas upp. Antalet mottagare vid varje station anpassades efter älvens bredd så att hela älven täcktes av för att minimera risken att fiskar simmade förbi utan att registreras.



Figur 2. Ritning av akustisk mottagare (VEMCO, VR2 och VR2-W) fastbunden i en boj och två vikter.

Forsandel

Andel fors uppskattades med hjälp av satellitkartor. För att området skulle klassas som fors krävdes att tydliga stenpartier med vitt vattenbrus var synliga. Forspartierna mättes och dess andel av hela delsträckan beräknades, vilket resulterade i en forsandel för varje delsträcka (figur 3). För att få en bättre bild över substratfördelningen för dessa forspartier och andra områden innehållande strömt vatten, genomfördes en substratinventring i fält. Uppskattning av stenstorlekar och dess olika fördelningar gjordes med hjälp av samma mall som används för substratinventering vid elfiske.



Figur 3. Exempel på bedömning av fors (vänster) och icke fors (höger) (eniro.se).

Delsträckor

1. Första delsträckan löpte från Laxhoppet, strax nedanför dammluckorna, till Kungsmo sel och var ca 910 m. Sträckan innehöll tre konstgjorda pooler a' 40x20 m. Fallhöjden var 15 m och 80 % av sträckan utgjordes av fors där substratet bestod av mestadels häll och större block mellan 40-200 cm.
2. Andra delsträckan från Kungsmo sel till Brännland var ca 3670 m och hade en fallhöjd på 20 m. Blockstorleken i de ojämna och strömmande partierna låg i huvudsak mellan 30-200 cm och andelen fors var 22 %.
3. Tredje delsträckan från Brännland ned till Kåddis var ca 1050 m lång och hade en fallhöjd på 2 m. Delar av sträckan innehöll mer strömmande vatten men bara 6 % räknades som fors.
4. Fjärde delsträckan från Kåddis till Baggböle var ca 1490 m och hade en fallhöjd på 2 m. Sträckan innehöll inga strömmande partier eller fors.
5. Femte och näst sista delsträckan gick från Baggböle ned till sammanflödet och var ca 1140 m lång och hade en fallhöjd på 11,3 m. Sträckan inefattade Baggböle fors, det mest intensivt strömmande partiet på hela studieområdet. Mer än halva sträckan utgjordes av kraftig fors (53 %) och substratet på dessa partier dominerades av en blandning mellan block i storleksklassen 20-200 cm och häll (>200 cm).
6. Sista delsträckan från sammanflödet ut till Holmsund, hade en homogen habitatstruktur och var med sin längd på 20,8 km och fallhöjd på 1,7 m den längsta och minst strömmande sträckan. Bredden och djupet på älven ökade markant efter sammanflödet och sträckan innehöll inget forsparti (tabell 2).

Tabell 2. Översikt av studieområdets delsträckor, dess längd (m), fallhöjd (m) och andel fors (%).

Delsträcka	Längd (m)	Fallhöjd (m)	Andet fors (%)
1. Laxhoppet – Kungsmo sel	910	15	80
2. Kungsmo sel - Brännland	3670	20	22
3. Brännland - Kåddis	1050	2	6
4. Kåddis - Baggböle	1490	2	0
5. Baggböle – Sammanflöde	1140	11,3	53
6. Sammanflöde - Holmsund	20800	1,7	0

Fisk och märkning

Till studien användes 2-årig smolt från Norrfors fiskodling. Dessa härstammade ifrån 12 odlade laxhanar, 38 vilda laxhanar, 11 odlade laxhonor och 39 vilda laxhonor (Norrfors fiskodling, Vattenfall AB). Uppväxten skedde i tråg med olika födotillgång: en grupp med reducerad fodergera och övriga grupper med obegränsad fodergera under odlingsfasen. Detta resulterade i smolt med varierande storlek och konditionsfaktor. De med reducerad fodergera hade en relativt låg konditionsfaktor och en medelvikt på 60 g. De fiskar som vuxit upp med obegränsad fodergera hade en högre konditionsfaktor och valdes ut för att så bra som möjligt passa in i storleksklasserna 120 och 180g (tabell 3). Totalt märktes 150 fiskar med 50 individer för vardera viktklass.

Studien genomfördes i maj-juni 2013. Under två dagar i mitten av maj märktes fisken med kodade akustiska sändare (Thelma Biotel, 7,3 x 18 mm, vikt 1,9 g). Fisken bedövades med Tricainmetansulfonat (MS 222) och placerades med den ventrala sidan uppåt i ett fuktad U-formad handduk för att minska stressen under operationen. Sändarna rengjordes i 95% etanol och sattes in via ett snitt mitt på fiskens underdel. Snittet syddes därefter ihop med två stygn (figur 4). Hanteringstiden var mellan 2-3 minuter för varje individ. Efter hantering sattes fisken i en vattenbehållare för återhämtning innan den släpptes tillbaka till sitt tråg (figur 4).

För att undvika negativa effekter på fiskens simförmåga och vandringsbeteende vid märkning rekommenderar Lacroix m.fl. (2004) att använda en sändare som utgör 16 % eller mindre av fiskens längd. De sändare vi använde låg klart under den siffran.



Figur 4. Operationssnittet sluts med två stygn efter att den akustiska sändaren satts in (vänster). Återhämtning i vattenbehållare efter operation (höger).

I samband med märkningen av fisk mättes och vägdes varje individ (tabell 3). Utifrån dessa värden räknades fiskens konditionsfaktor ut med hjälp av Fultons konditionsfaktor: $K = M/L_F^3 \times 100\,000$, där M är fiskens vikt (g) och L_F är fiskens längd (mm) (Ricker 1975). Det gjordes även en bedömning av fiskens fenstatus (ryggfena, bröstfena och stjärtfena) gjordes (tabell 4). Betygsskalan som användes för bedömningen av fenstatus följde kriterierna: 1. Fena i gott skick utan skador, 2. Fena något skadad (mindre än 50 %), 3. Fena svårt skadad (mer än 50 %). För att undvika skillnader i bedömningen utfördes den av en och samma person för samtliga fiskar. ’

Tabell 3. Medellängd, medelvikt och dess standardavvikelser (\pm SD) för den märkta smolten i de olika viktklasserna.

	Längd (mm) \pm SD	Vikt (g) \pm SD	Konditionsfaktor
60 g	180 \pm 4	58 \pm 4	0,99
120 g	221 \pm 6	114 \pm 8	1,06
180 g	255 \pm 8	181 \pm 23	1,59

Tabell 4. Andel fiskar (%) med olika fensstatus för varje viktklass och fentyp.

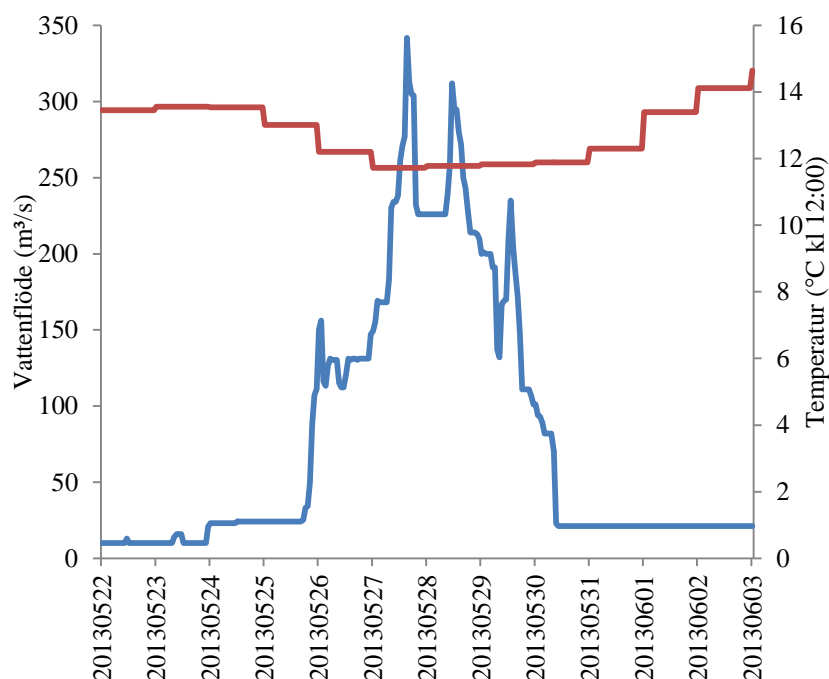
	Viktklass (g)	Fenstatus		
		1 (%)	2 (%)	3 (%)
Ryggfena	60	38	58	4
	120	47	49	4
	180	18	80	2
Stjärtfena	60	28	72	0
	120	41	59	0
	180	26	74	0
Bröstfena	60	14	82	4
	120	16	84	0
	180	0	96	4

Utsättning

Den märkta fisken hölls kvar i odlingen drygt två veckor innan de sattes ut i älven. Utsättningen skedde tillsammans med ordinarie smoltutsättning den 23:e maj mellan 19.30–20.00 i en bäck som rinner från odlingen och ned mot Laxhoppet. Vid denna tidpunkt levde samtliga individer.

Vattenflöde och temperatur

Vid tidpunkten för utsättning låg vattenflödet på 10 m³/s för att bara några timmar senare öka till över det dubbla (figur 5). Medelvattenflödet de kommande två dagarna låg mellan 23–36 m³/s tills man den 26:e maj ökade vattenflödet drastiskt och som högst mätte flödet 342 m³/s (data från Norrfors fiskodling). Temperaturen låg vid utsättningen den 23:e maj på 13,5 °C. När vattenflödet höjdes, sjönk temperaturen till som lägst 11,7 °C den 27:e maj och sedan steg den till 14,7 °C den 3:e juni (figur 5).



Figur 5. Förändringar i vattenflöde och vattentemperatur från smoltutsättningen och tio dagar framåt (Norrfors fiskodling).

Beräkningar och dataanalys

När tiden för smoltvandring ansågs vara förbi plockades mottagarna in. Den ena mottagaren, placerad i en av poolerna mellan Laxhoppet och Kungsmo sel, försvann och de två mottagarna i poolerna intill hade för få registreringar, varpå dessa ströks ur analysen. Data från mottagarna fördes in i en excelfil och samtliga registrerade fiskpasseringar kunde utläsas. För de platserna i älven med fler än en mottagare, slogs registreringarna ihop till en station.

Varje individvis första respektive sista passering från varje station sorterades ut. För de individer som registrerats endast en gång användes den tiden som både första och sista passering i senare uträkningar. Fiskar räknades som döda efter den station som individen sist registrerats vid. Endast fiskar med passeringsinformation från två intilliggande stationer användes i uträkningar för hastigheter på delsträckorna och detta gjordes oberoende av viktklass. Medelhastigheten på delsträckorna räknades ut genom migrationstiden (s) mellan två intilliggande stationer dividerat med längden på delsträckan (m). Tiden räknades som tidsintervallet mellan individens sista registrering vid en station och första registreringen vid intilliggande station nedströms. Den totala migrationshastigheten från utsättningsplatsen till Holmsund beräknades som migrationstid (s) mellan tidpunkten för utsättning och första gången fisken registrerades vid Holmsund, dividerat med avståndet (m) mellan utsättningsplatsen och Holmsund. För jämförelse av skillnader i medelhastighet mellan olika delsträckor användes repeated measure ANOVA (rANOVA) och ett post hoc Tukey HSD-test gjordes för att konstatera hur sträckorna skiljde sig från varandra. Efter försöket visade det sig att sändaren i en av fiskarna i 120 g-klassen inte var påslagen och individen ströks därför ur beräkningarna.

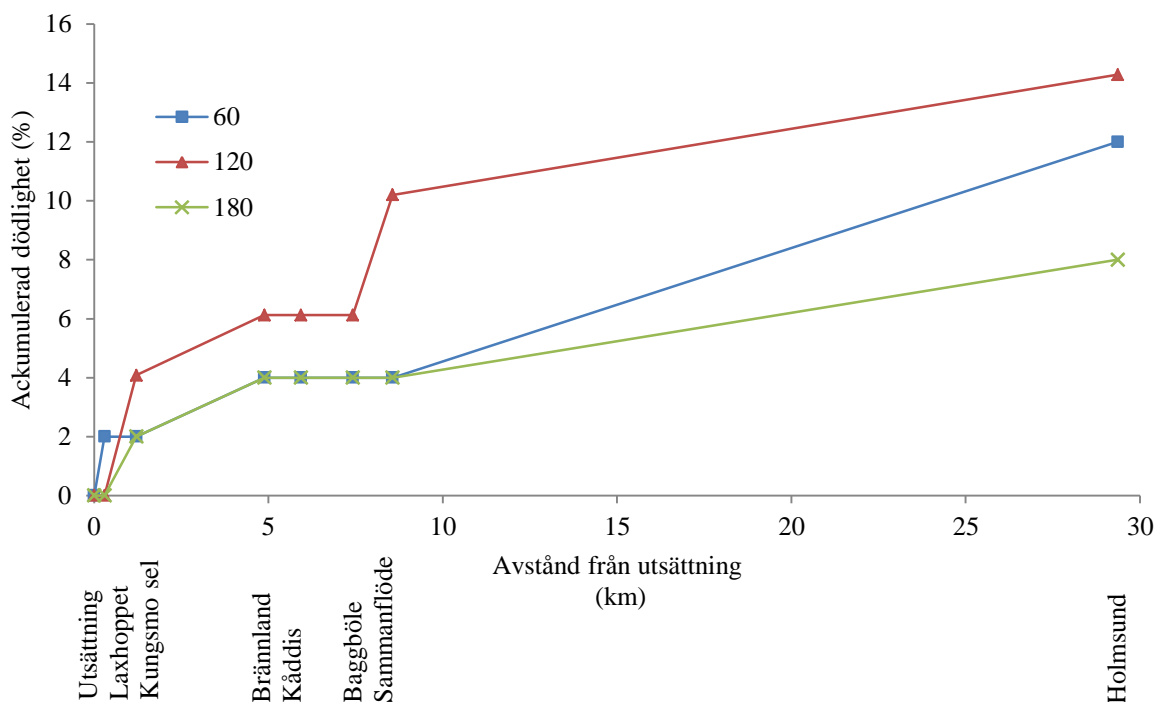
För att göra mina sambandsanalyser och rANOVA använde jag mig av SPSS 22.0. Medelvärden med standardavvikelse räknades ut och Spearmans korrelationstest användes för att testa om de enskilda variablerna, fallhöjd och andel fors hade något enkelt samband med utfallsvariabeln hastighet, eller om de korrelerade med varandra. Innan variablerna sattes in i modellerna kontrollerades antaganden om normalfördelning.

För att beskriva hur utfallsvariabeln hastighet förändras när man lägger till flera olika kontrollvariabler användes en flernivåmodell – mixed model. En flernivåmodell tar hänsyn till den korrelation som uppkommer mellan observationer när man mäter samma individ flera gånger. Fyra olika modeller användes där variablerna andel fors, fallhöjd, viktklass och fenstatus lades till en i taget, och där den sista modellen inkluderade alla variabler. Som ett relativt mått på hur bra modellerna passade data användes Akaike informationskriterium (AIC), där ett lågt värde på AIC motsvarade en bättre modell.

Resultat

Mortalitet

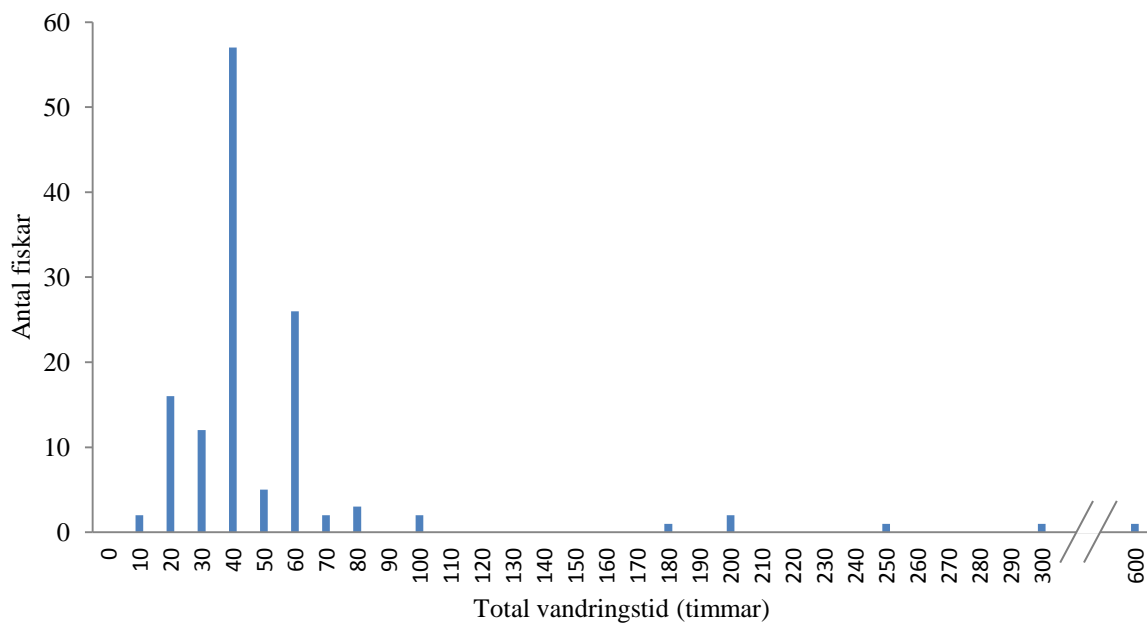
Av de 149 märkta fiskarna hade fyra individer inte registrerats vid någon station. Antalet fiskar som registrerades vid två intilliggande mottagare var 14 (Laxhoppet-Kungsmo sel), 106 (Kungsmo sel-Brännland), 121 (Brännland-Kåddis), 141 (Kåddis-Baggböle), 137 (Baggböle-Sammanflöde), 130 (Sammanflöde-Holmsund). Tre individer hade sin sista registrering vid Kungsmo sel, två vid Baggböle och åtta vid sammanflödet. Totalt försvann 17 individer (11,4%) och samtliga antogs vara döda. Nära hälften av dessa (6 %) försvann i den gamla älvfåran och resten (5,4 %) mellan sammanflödet och Holmsund. Mortaliteten var relativt lika mellan grupperna och den totala mortaliteten för varje viktklass var 12 % för 60g-gruppen, 14 % för 120g-gruppen och 8 % för 180g-gruppen (figur 6). För 60g-gruppen var mortaliteten högst direkt efter utsättning, för 180g-gruppen var mortaliteten högst mellan Laxhoppet och Kungsmo sel och 120g-gruppen hade högst mortalitet mellan Laxhoppet och Kungsmo sel samt mellan Baggböle och sammanflödet.



Figur 6. Ackumulerad dödlighet (%) mellan mottagarstationer hos den märkta smolten för varje viktklass.

Medelhastighet

Majoriteten av den märkta smolten tog 31-40 timmar på sig att simma de 29 km från utsättningsplatsen till Holmsund, medianen var 36 timmar och bara några enstaka fiskar behövde mer än en vecka på sig. Den snabbaste fisken simmade hela sträckan på strax under fjorton timmar (figur 7). En av fiskarna från 120 g-gruppen tog sig ned till Baggböle men registrerades drygt en månad efter utsättningen uppe i Kungsmo sel igen.

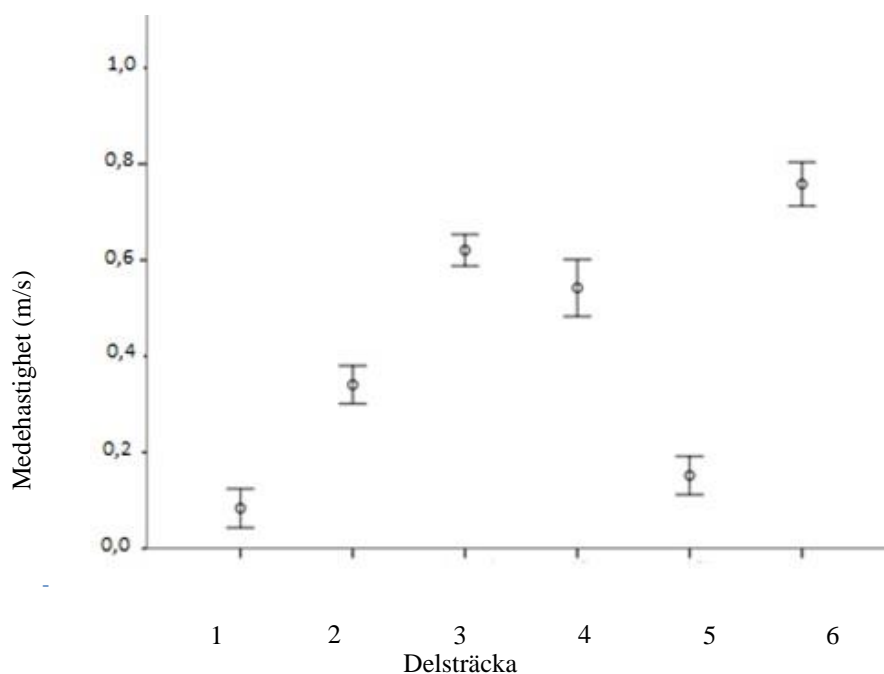


Figur 7. Antal fiskar med olika total vandringstid (timmar) mellan Laxhoppet och Holmsund.

Medelhastigheten för de olika viktklasserna varierade mellan 0,45 och 0,49 m/s (tabell 5) och det fanns ingen signifikant skillnad mellan dessa (rAnova, $F=0,867$, $p=0,235$). Oberoende av viktklass, skiljde sig medelhastigheten åt för de olika delsträckorna (rANOVA, $F=95,66$, $p<0,001$). Post hoc-test visade på signifikanta skillnader mellan de flesta delsträckor, men inte mellan delsträckorna 1 och 5 eller mellan delsträckorna 3 och 4. Medelhastigheten för delsträckorna varierade mellan 0,08 m/s och 0,76 m/s och för de delsträckor med mindre än 50 % fors (sträcka 2, 3, 4 och 6) var fiskens medelhastighet i snitt ca fyra gånger högre än för de delsträckor med mer än 50 % fors (sträcka 1 och 5, figur 8).

Tabell 5. Medelhastigheten och dess standardavvikelse (SD) för olika viktklasser och för fisk med olika fenstatus (oberoende av viktclass).

Faktor	Kategori	Medelhastighet	N	SD
Viktklass (g)	60	0,48	50	0,34
	120	0,45	49	0,33
	180	0,49	50	0,34
Ryggfena	1	0,47	51	0,33
	2	0,48	93	0,34
	3	0,39	5	0,31
Stjärtfena	1	0,46	47	0,33
	2	0,48	102	0,34
Brösthfena	1	0,42	15	0,34
	2	0,48	130	0,34
	3	0,33	4	0,28



Figur 8. Fiskarnas medelhastighet för de olika delsträckorna (1. Laxhoppet - Kungsmo sel, 2. Kungsmo sel - Brännland, 3. Brännland – Kåddis, 4. Kåddis – Baggböle, 5. Baggböle – Sammanflöde, 6. Sammanflöde – Holmsund). 95 % konfidensintervall

Sambandsanalyser

Smoltens hastighet var signifikant lägre för delsträckorna 1 och 5 och dessa sträckor hade högst fallhöjd och störst andel fors (tabell 2). Sambanden testades därför mellan utfallsvariabeln hastighet och de oberoende variablerna andel fors och fallhöjd. De båda oberoende variablerna visade signifikanta samband med den kontrollerande variabeln, där fiskarnas hastighet sjönk med ökad fallhöjd och andel fors (tabell 6). Det fanns inget signifikant samband mellan de två oberoende variablerna andel fors och fallhöjd.

Tabell 6. Sambanden mellan simhastighet, andel fors och fallhöjd med en 95 % -signifikansnivå (Spearman's korrelationstest).

	Simhastighet	Andel fors	Fallhöjd
Hastighet	1		
Andel fors	-0,61*	1	
Fallhöjd	-0,58*	0,42	1

*= $p < 0,05$

För att mer ingående ta reda på hur hastigheten påverkades när man kombinerade de olika variablerna andel fors, fallhöjd, viktklass (tabell 5) och fenstatus (tabell 5) gjordes ytterligare sambandsanalyser med hjälp av en regression. Smoltens simhastighet var 0,39 m/s högre när andelen fors på sträckan var under 50 % jämfört med när forsandelen var över 50 % (modell 1, tabell 8). För varje ökad fallmeter minskade smoltens hastighet med 0,02m/s (modell 2, tabell 8). De olika viktklasserna hade ingen signifikant inverkan på smoltens hastighet (modell 3), inte heller statusen på rygg- och stjärtfena. Stora skador på bröstfenan (status 3) hade en signifikant negativ inverkan på hastighet. Smolt med inga eller få skador (status 1 och 2) på bröstfenan simmade i snitt 0,12 respektive 0,18 m/s snabbare än smolt med stora skador på bröstfenan (modell 4, tabell 8). Andel fors och fallhöjd (modell 2, tabell 8) hade lägst AIC och var de variabler som hade störst påverkan på fiskens medelhastighet på de olika delsträckorna.

Tabell 7. Regressionsanalys med beroende variabel fiskens hastighet. B-koefficient och dess konfidensintervall (KI) inom parantes.								
Modell 1. (andel fors)			Modell 2. (andel fors och fallhöjd)		Modell 3. (andel fors, fallhöjd och viktklass)		Modell 4. (andel fors, fallhöjd, viktklass och fenstatus)	
Andel fors	β	95 % KI	β	95 % KI	β	95 % KI	β	95 % KI
<= 50 %	0,39*	(0,36; 0,41)	0,32*	(0,28; 0,35)	0,32*	(0,28; 0,35)	0,33*	(0,29; 0,38)
> 50 %	ref.				ref.		ref.	
Fallhöjd			- 0,02*	(-0,02; -0,02)	0,02*	(-0,02; -0,02)	- 0,02	(-0,02; -0,01)
Viktklass								
60 g					- 0,00	(-0,05; 0,04)	- 0,01	(-0,06; 0,06)
120 g					- 0,02	(-0,07; 0,02)	- 0,04	(-0,09; 0,01)
180 g					ref.		ref.	
Ryggfena								
1							0,04	(-0,02; 0,09)
2							0,02	(-0,03; 0,07)
3							ref.	
Stjärtfena								
1							- 0,04	(-0,08; 0,01)
2							ref.	
Brösthfena								
1							0,12*	(0,01; 0,24)
2							0,18*	(0,10; 0,27)
3							ref.	
N	141		141		141		141	
AIC	68,4		-3,03		7,68		57,63	

* = p<0,05

Diskussion

Min förutsägelse om högre mortalitet i den gamla älvfåran stämde inte då mortaliteten var relativt låg och i stort sett densamma för den gamla älvfåran och resten av älven. Resultat från tidigare studier i Umeälven på odlad smolt från 2011 visade på en hög mortalitet, upp till 84 %, där den största andelen smolt försvann i den gamla älvfåran (Alanära m.fl. 2014). I min studie verkade den gamla älvfåran helt enkelt inte utgöra samma hinder som tidigare och vad exakt det berodde på är inte helt klart, men en möjlig förklaring kan ha varit det högre vattenflödet och fiskarnas högre hastighet i min studie jämfört med tidigare år. Både 2011 och 2012 var vattenflödet 10 m³/s i samband med utsättningen i Norrfors. I min studie ökade flödet från 10 m³/s till 23 m³/s, dvs. mer än det dubbla, redan efter några timmar efter utsättningen. På vilket sätt det höga vattenflödet skulle vara bättre vet man inte säkert men en hypotes är att det minskar exponeringen för predatorer, eftersom högt flöde ökar hastigheten hos den utvandrande fisken (Jonsson m.fl. 1991). Sættm (1990) visade att naturliga vattenfall kan orsaka både skador och mortalitet hos den utvandrande smolten. Den gamla älvfåran innehåller inga direkta fall men bitvis stora stensubstrat, ofta i samband med forsar, något som skulle kunna orsaka fysiska skador hos den nedvandrande smolten. Ett högt vattenflöde gör dock att många av dessa naturliga hinder försvinner eftersom fisken helt enkelt kan simma över dem, något som skulle kunna vara ytterligare en förklaring till den låga mortaliteten i min studie.

Medelhastigheten varierade stort mellan de olika delsträckorna och det fanns ett tydligt samband mellan sträckornas karaktär och hastigheten. Delsträckor med hög andel fors, stor fallhöjd och stor stenstorlek hade klart lägst medelhastighet medan sträckor med låg fallhöjd och ingen eller liten andel fors hade en hög medelhastighet. Tidigare vandringsstudier har visat att när smolten närmar sig små vattenfall kan de simma flera gånger mot fallets början, som för att testa strömstyrkan, innan den slutligen simmar ned (Svendsen m.fl., 2007). Detta trevande vandringsbeteende har mest troligt en negativ inverkan på fiskens hastighet och skulle kunna vara en förklaring till smoltens låga medelhastighet på delsträckor innehållande hög andel fors och fallhöjd.

Förutsägelsen om att den minsta viktklassen med reducerad fodergiva skulle vandra snabbast stämde inte då varken simhastighet eller överlevnad skiljde sig mellan storleksklasserna. Detta är något som skiljer sig från tidigare studier på öring och lax där man sett att smolt uppvuxen med reducerad fodertillgång och perioder av svält är mer benägen att vandra (Larsson m.fl. 2012; Lans m.fl. 2011). Tidigare försök i Umeälven har inte heller visat några entydiga resultat för vikten och fodergivans betydelse på hastighet eller mortalitet (Alanära m.fl. 2014). Smolt med en högre medelvikt vandrade 2011 långsammare och hade högre mortalitet jämfört med den odlade smolten med lägre medelvikt. Ett motsatt samband för medelhastigheten såg man 2012 där den minsta smolten med reducerad födotillgång vandrade långsammast. Variationerna i simhastighet kan vara stor mellan olika behandlingsgrupper (McCormick m.fl., 1998) och man har visat att laxsmolt kan migrera både passivt (Thorpe och Morgan, 1978) och aktivt (Peake och McKinley, 1998). Ett högt vattenflöde skulle kunna leda

till en mer passiv vandring, något som i sin tur möjligtvis kan ha maskerat eventuella skillnader mellan viktclasserna i min studie.

Min förutsägelse om att dålig fenstatus skulle ha en negativ inverkan på vandringsframgång visade sig bara stämma till viss del. Fiskar med dålig fenstatus på bröstfenorna hade lägre simhastighet än fiskar med bättre fenstatus på bröstfenorna. Bröstfenan fungerar stabiliserande och som stöd vid manövrering och bromsning (Arnold m.fl., 1991). Det är därmed inte otänkbart att simförmågan hos fisken försämras vid en nedsatt funktion av bröstfenan. Antalet individer med dålig fenstatus var dock få (4 av 149), något som tillför en viss osäkerhet i resultatet.

Odling och utsättning av smolt är av stor betydelse för att upprätthålla både yrkes- och sportfiske i vattenkraftsutbyggda älvar, men den låga överlevnaden indikerar att metoderna bör förbättras. Den höga mortaliteten man sett i ett tidigt skede av utvandringen (Thorstad m.fl., 2011) talar för införande av åtgärder som förbättrar de initiala förutsättningarna i vattendragen. Foderreduktion och manipulering av vattenflöde är två metoder som tidigare visat sig ha en positiv inverkan på smoltvandringen efter utsättning (Lans m.fl., 2011; Aarestrup m.fl., 2002). I min studie hade en foderreduktion inte någon effekt på fiskens vandringsframgång. Däremot visade sig ett ökat vattenflöde förbättra både vandringshastighet och överlevnad i jämförelse med resultaten från tidigare år. Strukturer i älven påverkade fiskens utvandring, där delar med hög andel fors och fallhöjd samt stora stensubstrat hade en negativ inverkan på smoltens medelhastighet. Trots det var mortaliteten överlag låg och det fanns inga skillnader mellan den gamla älvfåran och övriga älven, något som troligtvis till stor del var kopplat till vattenflödet. De tidigare studierna, där lägre medelhastighet och högre mortalitet rapporterats (Alanära m.fl., 2014), utfördes vid ett lägre vattenflöde vilket stärker teorin om det höga flödets positiva effekter på smoltens vandringsframgång. Ett högt vattenflöde borde vara av extra betydelse i vattendrag med många komplicerade passager där fisken har svårigheter att ta sig fram. För reglerade vattendrag skulle man därför kunna öka vattenflödet i samband med utsättningen av smolt och därmed minska den totala mortaliteten. I mindre, oreglerade vattendrag bör man istället, om möjligt, styra utsättningen till naturligt höga flöden i samband med vårflood.

För framtida studier skulle ett än större fokus kunna läggas på olika strukturer i älven som försvårar smoltens utvandring. En mer övergripande inventering av substratfördelningen för studieområdet skulle ge en mer heltäckande bild av hur detta påverkar vandringen. Ytterligare en intressant variabel att ta hänsyn till är förekomst av predatorer på olika delar av sträckan. Genom att dela in älven i mer homogena delsträckor skulle man dessutom på ett säkrare sätt kunna urskilja hur olika strukturer i älven påverkar utvandringen.

Tillkännagivande

Först och främst vill jag tacka min handledare Lo Persson för ditt engagemang och ovärderliga stöttning under hela arbetets gång. Jag vill även tacka min handledare Anders Alanära för vettiga idéer och synpunkter i arbetets uppstart och slutfas. Tack också till Norrfors fiskodling för tillhandahållandet av viktig data och till Christian Andersson för att du alltid är min klippa när det stormar. Mitt sista och allra största tack går till Fredrik Jonsson, statistiker vid Institutionen för folkhälsa och klinisk medicin. Ord kan inte beskriva hur mycket all din hjälp betytt för mig. Tack för att du alltid tagit dig tid, att du orkat förklara och svara pedagogiskt på mina tusentals frågor men framförallt tack för att du är en sådan fin person.

Referenser

- Aarestrup, K., Nielsen, C. och Koed, A. (2002). Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) smolts in relation to environmental factors. *Hydrobiologia* 483(1-3), 95-102.
- Alanära, A., Schmitz, M och L. Persson 2014. Funktionella metoder för odling av fysiologiskt naturanpassad laxsmolt. Elforsk rapport 14:02.
- Arnold, G.P., Webb, P.W. och Holford, B.H. (1991). The role of the pectoral fins in station-holding of atlantic salmon parr (*salmo-salar* l). *Journal of Experimental Biology* 156, 625-629.
- Eriksson, L. O. Rivinoja, P. Östergren, J. Serrano, I. och S. Larsson (2008). Smolt quality and survival of compensatory stocked Atlantic salmon and brown trout in the Baltic Sea. Report 62. Dept. of Wildlife, Fish and Environmental Studies, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Finstad, B. och Jonsson, N. (2001). Factors influencing the yield of smolt releases in Norway. *Nordic Journal of Freshwater Research* 75, 37-55.
- ICES. (2009). Report of the Baltic Salmon and Trout Assessment Working Group (WGBAST), 21–31 March 2009, Oulu, Finland [online]. ICESCM2009/ACOM:05. Tillgänglig: http://www.ices.dk/reports/ACOM/2009/WGBAST/WGBAST_2009_final.pdf [2014-02-18].
- Jonsson, B. och Jonsson, N. (1993). Partial migration - niche shift versus sexual-maturation in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 3(4), 348-365.
- Jonsson, B., Jonsson, N. och Hansen, L.P. (1991). Differences in life-history and migratory behavior between wild and hatchery-reared atlantic salmon in nature. *Aquaculture* 98(1-3), 69-78.
- Lans, L., Greenberg, L.A., Karlsson, J., Calles, O., Schmitz, M. och Bergman, E. (2011). The effects of ration size on migration by hatchery-raised Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Ecology of Freshwater Fish* 20(4), 548-557.
- Larsson, S., Serrano, I. och Eriksson, L.-O. (2012). Effects of muscle lipid concentration on wild and hatchery brown trout (*Salmo trutta*) smolt migration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69(1), 1-12.

- McCormick, S.D., Hansen, L.P., Quinn, T.P. och Saunders, R.L. (1998). Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55, 77-92.
- Peake, S. och McKinley, R.S. (1998). A re-evaluation of swimming performance in juvenile salmonids relative to downstream migration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55(3), 682-687.
- Petersson, E., Karlsson, L., Ragnarsson, B., Bryntesson, M., Berglund, A., Stridsman, S. och Jonsson, S. (2013). Fin erosion and injuries in relation to adult recapture rates in cultured smolts of Atlantic salmon and brown trout. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 70(6), 915-921.
- Sættem, L. M. (1990). Skadefrekvens hos laksefisk etter nedvandring i foss. Fylkesmannen i Sogn og Fjordane Miljøvernavdelinga Rapport nr. 3-1990.
- Salminen, M., Alapassi, T. och Ikonen, E. (2007). The importance of stocking age in the enhancement of River Kymijoki salmon (*Salmo salar*). *Journal of Applied Ichthyology* 23(1), 46-52.
- Serrano, I., Larsson, S. och Eriksson, L.-O. (2009a). Migration performance of wild and hatchery sea trout (*Salmo trutta* L.) smolts-Implications for compensatory hatchery programs. *Fisheries Research* 99(3), 210-215.
- Serrano, I., Rivinoja, P., Karlsson, L. och Larsson, S. (2009b). Riverine and early marine survival of stocked salmon smolts, *Salmo salar* L., descending the Testebo River, Sweden. *Fisheries Management and Ecology* 16(5), 386-394.
- Statlig utredning (2000). Svenskt vattenbruk – en framtidsnäring (Ds 2000:42). Stockholm: Jordbruksdepartementet.
- Svendsen, J.C., Eskesen, A.O., Aarestrup, K., Koed, A. och Jordan, A.D. (2007). Evidence for non-random spatial positioning of migrating smolts (*Salmonidae*) in a small lowland stream. *Freshwater Biology* 52(6), 1147-1158.
- Thorpe, J.E. (1994). An alternative view of smolting in salmonids. *Aquaculture* 121(1-3), 105-113.
- Thorpe, J.E. och Morgan, R.I.G. (1978). Periodicity in atlantic salmon *salmo-salar* l smolt migration. *Journal of Fish Biology* 12(6), 541-548.
- Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Rikardsen, A.H. och Aarestrup, K. (2011). *Aquatic nomads: the life and migrations of the Atlantic salmon*: Wiley-Blackwell. (Atlantic salmon ecology. ISBN 978-1-4051-9769-4).
- Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A.H. och Finstad, B. (2012). A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology* 81(2), 500-542.
- Tipping, J.M., Cooper, R.V., Byrne, J.B. och Johnson, T.H. (1995). Length and condition factor of migrating and nonmigrating hatchery-reared winter steelhead smolts. *Progressive Fish-Culturist* 57(2), 120-123.

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2013:16 Determinants of winter kill rates of wolves in Scandinavia.
Författare: Mattia Colombo
- 2013:17 The cost of having wild boar: Damage to agriculture in South-Southeast Sweden.
Författare: Tomas Schön
- 2013:18 Mammal densities in the Kalahari, Botswana – impact of seasons and land use.
Författare: Josefine Muñoz
- 2014:1 The apparent population crash in heath-hares *Lepus timidus sylvaticus* of southern Sweden – Do complex ecological processes leave detectable fingerprints in long-term hunting bag records?
Författare: Alexander Winiger
- 2014:2 Burnt forest clear-cuts, a breeding habitat for ortolan bunting *Emberiza hortulana* in northern Sweden?
Författare: Cloé Lucas
- 2014:3 Movement ecology of the golden eagle *Aquila chrysaetos* and the semi-domesticated reindeer *Rangifer tarandus*.
Författare: Mattias Nilsson
- 2014:4 Tick burden in neonatal roe deer (*Capreolus capreolus*): the role of age, weight, hind foot length, and vegetation and habitat on bed sites
Författare: Evelina Svensson
- 2014:5 Effects of tree retention on cavity-nesting birds in northern Sweden.
Författare: Eva Domingo Gómez
- 2014:6 Utvärdering av lockmedel för mark-levande predatorer under midvinter-månader i Norrbottens inland.
Författare: Martin Johansson
- 2014:7 Role of cervids and wild boar on the presence of tick-borne encephalitis virus in Sweden.
Författare: Carmelo Gómez Martínez
- 2014:8 Full Circle: Upstream and downstream migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the northern Swedish river Vindelälven.
Författare: Raven Grandy-Rashap
- 2014:9 Nyckeltal för älg och fodertillgång på tall *Pinus sylvestris* och rönn *Sorbus aucuparia*.
Författare: Mikael Åkerblom Andersson
- 2014:10 Rissepareringens effekter på viltets nyttjandegrad av GROT.
Författare: David Rehmberg